Energie - wat is dat eigenlijk?

Afstand, tijd, gewicht – veel natuurkundige begrippen gebruiken we ook in het dagelijks leven. Dat geldt ook voor het begrip ‘energie’. Iedereen weet gevoelsmatig wat energie is. Maar kunt u ook precies uitleggen wat u met dat woord bedoelt?



Afbeelding 1. Energie.Windenergie, zonne-energie… We hebben allemaal een beeld van wat er met ‘energie’ bedoeld wordt. Maar wat is energie nu precies? Foto: Tafe Sa Tonsley.

Van Dale definieert energie als het ‘vermogen om arbeid te verrichten’. Op het eerste gezicht helpt die definitie ons niet veel verder. *Arbeid* is in de natuurkunde namelijk de energie die nodig is om, door middel van een kracht, een bepaalde verplaatsing te bewerkstelligen. Energie beschrijven als de mogelijkheid om arbeid te verrichten, lijkt dus nogal een cirkelredenering.

Toch is de woordenboekdefinitie bij nadere beschouwing zo gek nog niet. Eén van de belangrijke eigenschappen van energie is namelijk dat die steeds van de ene vorm in de andere kan worden omgezet. Wie van een duikplank afspringt, zet potentiële energie (oftewel: hoogte-energie) om in kinetische energie (oftewel: bewegingsenergie). Steken we het gasfornuis aan, dan wordt chemische energie (een andere vorm van potentiële energie) omgezet in warmte-energie.

De Amerikaanse natuurkundige Richard Feynman beschreef deze bijzondere eigenschap van energie in zijn beroemde *Feynman lectures on physics* als volgt:

Imagine a child, perhaps "Dennis the Menace," who has blocks which are absolutely indestructible, and cannot be divided into pieces. Each is the same as the other. Let us suppose that he has 28 blocks. His mother puts him with his 28 blocks into a room at the beginning of the day. At the end of the day, being curious, she counts the blocks very carefully, and discovers a phenomenal law—no matter what he does with the blocks, there are always 28 remaining! This continues for a number of days, until one day there are only 27 blocks, but a little investigating shows that there is one under the rug—she must look everywhere to be sure that the number of blocks has not changed.



Afbeelding 2. Richard Feynman.Foto: The Nobel Foundation.

One day, however, the number appears to change—there are only 26 blocks. Careful investigation indicates that the window was open, and upon looking outside, the other two blocks are found. Another day, careful count indicates that there are 30 blocks! This causes

considerable consternation, until it is realized that Bruce came to visit, bringing his blocks with him, and he left a few at Dennis' house.

After she has disposed of the extra blocks, she closes the window, does not let Bruce in, and then everything is going along all right, until one time she counts and finds only 25 blocks. However, there is a box in the room, a toy box, and the mother goes to open the toy box, but the boy says "No, do not open my toy box," and screams. Mother is not allowed to open the toy box. Being extremely curious, and somewhat ingenious, she invents a scheme! She knows that a block weighs three ounces, so she weighs the box at a time when she sees 28 blocks, and it weighs 16 ounces. The next time she wishes to check, she weighs the box again, subtracts sixteen ounces and divides by three. She discovers the following:

$$\begin{pmatrix}\text{number of}\\ \text{blocks seen}\end{pmatrix} + \frac{(\text{weight of box}) - 16\text{ ounces}}{3\text{ ounces}} = \text{constant}$$

There then appear to be some new deviations, but careful study indicates that the dirty water in the bathtub is changing its level. The child is throwing blocks into the water, and she cannot see them because it is so dirty, but she can find out how many blocks are in the water by adding another term to her formula. Since the original height of the water was 6 inches and each block raises the water a quarter of an inch, this new formula would be:

$$\begin{pmatrix}\text{number of}\\ \text{blocks seen}\end{pmatrix} + \frac{(\text{weight of box}) - 16\text{ ounces}}{3\text{ ounces}} + \frac{(\text{height of water}) - 6\text{ inches}}{1/4\text{ inch}} = \text{constant}$$

In the gradual increase in the complexity of her world, she finds a whole series of terms representing ways of calculating how many blocks are in places where she is not allowed to look. As a result, she finds a complex formula, a quantity which has to be computed, which always stays the same in her situation.

Net als in het voorbeeld van de blokken kan energie dus in zekere zin gedefinieerd worden door er één vorm van te beschrijven, en vervolgens alle andere vormen daaraan te relateren door te eisen dat de totale hoeveelheid energie behouden is. Heel bevredigend is die oplossing misschien niet, en dat komt onder meer doordat een belangrijke vraag er niet mee beantwoord wordt. *Waarom* is er überhaupt een grootheid zoals energie die in de loop van de

tijd nooit toe- of afneemt?

Het antwoord op die vraag is voor andere situaties op deze site al eerder besproken, en is afkomstig van de wiskundige Emmy Noether. Zij toonde aan dat *behouden grootheden* en *symetrieën* rechtstreeks met elkaar te maken hebben. Steeds wanneer blijkt dat onze natuurwetten symmetrisch zijn onder een bepaalde operatie, kan aangetoond worden dat er ook een bijbehorende behouden grootheid moet zijn. In een eerder artikel over impuls zagen we bijvoorbeeld dat onze natuurwetten invariant zijn onder translaties (in meer alledaagse taal: experimenten geven precies dezelfde uitkomsten als we ze een stukje opschuiven), en dat als gevolg daarvan de totale hoeveelheid impuls in een systeem behouden is.

Nu zijn verschuivingen in de ruimte lang niet de enige operaties die onze natuurwetten niet veranderen. Een ander voorbeeld zijn bijvoorbeeld verschuivingen in de *tijd*. Als we besluiten een experiment niet vandaag maar morgen uit te voeren, zal de uitkomst van het experiment als het goed is exact hetzelfde zijn. Uit de wiskunde van Noether volgt dat er ook bij deze ’tijdstranslaties’ een behouden grootheid hoort, en die behouden grootheid is de energie.



Afbeelding 3. Vroeger of later…Als we een experiment ‘in de tijd verschuiven’ door het vroeger of later uit te voeren, zullen de uitkomsten niet veranderen. Foto: Denise Mattox.

Dat energie en tijd heel veel met elkaar te maken hebben, blijkt ook nog op een andere manier. De wiskunde van Noether gaat namelijk nog verder: die zegt ook dat de behouden grootheden vervolgens *de symmetrie genereren*. Wat betekent dat? Grofweg het volgende: als we precies weten hoe we in alle gevallen de energie moeten uitrekenen (met andere woorden: als we precies weten hoe we het totaal aantal ‘blokken’ moeten tellen), kunnen we van elk systeem exact berekenen hoe het in de loop van de tijd zal veranderen. Dit principe wordt bijvoorbeeld in de klassieke mechanica en in de quantummechanica gebruikt om vanuit bepaalde begincondities te berekenen hoe een systeem er op een later tijdstip uit zal zien.

Daaruit blijkt waarom energie in de natuurkunde zo’n cruciale grootheid is. Bijna elke

natuurkundige vraag is immers van de vorm ‘als de situatie nu zo en zo is, wat zal er dan gebeuren’? Met behulp van het begrip energie valt het antwoord op zulke vragen te berekenen.

Vraagt iemand u dus binnenkort op een feestje: ‘energie, wat is dat eigenlijk?’, dan weet u nu het juiste antwoord. Energie is datgene wat niet verandert omdat onze natuur symmetrisch is onder verschuivingen in de tijd. Mocht dat weliswaar juiste antwoord de feestvreugde niet ten goede komen, dan kunt u natuurlijk altijd nog Feynmans verhaal over de blokken vertellen.